

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Petar Rohlik

Zagreb, 2014.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Procesno energetska smjer

ZAVRŠNI RAD

MIKRO HIDROELEKTRANA

Mentor:
Prof.dr.sc.Zvonimir Guzović

Student:
Petar Rohlik

Zagreb,2014.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Zvonimiru Guzoviću na stručnoj pomoći, strpljenju i savjetovanju tijekom izrade završnog rada.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima na strpljenju, potpori i podršci koju su mi pružali tijekom studiranja.

Rohlik, Petar



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Petar Rohlik** Mat. br.: 0035184698

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **MIKRO HIDROELEKTRANA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **MICRO HYDROPOWER PLANT**

Opis zadatka:

S ciljem smanjenja emisije CO₂, proizvodnja tzv. zelene električne energije iz obnovljivih energetskih izvora postaje sve značajnija. Doprinos tome mogu dati i male hidroelektrane. Kod uzgoja riba u ribogojilištima u ribnjacima se mora osigurati stalni protok vode uz određeni geodetski pad. Stoga postoji hidropotencijal za instaliranje malih hidroelektrana snaga nekoliko kW do nekoliko desetaka kW (tzv. mikro hidroelektrane). Jedna takova potencijalna lokacija za instaliranje mikro hidroelektrane je ribogojilište Končanica.

U okviru završnog rada potrebno je:

- 1) dati opis mogućih shema malih hidroelektrana kao i njihovih osnovnih komponenti, uz posebni osvrt na mikro hidroelektrane;
- 2) odrediti hidropotencijal (protoke i geodetske padove) u ribogojilištu Končanica;
- 3) na temelju hidropotencijala predložiti najpogodniji tip vodne turbine za mikro hidroelektranu i odrediti njene najvažnije karakteristike, te definirati ostale komponente mikro hidroelektrane;
- 4) provesti tehno-ekonomsku analizu mikro hidroelektrane.

U radu treba navesti korištenu literaturu kao i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

25. studenog 2014.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

Rok predaje rada:

1. rok: 26. veljače 2015.

2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.

2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ:

1. POPIS SLIKA.....	2
2. POPIS TABLICA.....	3
3. POPIS SIMBOLA.....	4
4. SAŽETAK.....	6
5. UVOD.....	8
6. MALE HIDROELEKTRANE, OSNOVNE KOMPONENTE I SHEMA.....	9
6.1. O malim hidroelektranama.....	9
<i>6.1.1. Podjela malih hidroelektrana.....</i>	<i>10</i>
6.2. Osnovne komponente.....	14
<i>6.2.1. Građevinske komponente.....</i>	<i>14</i>
<i>6.2.1.1. Brana.....</i>	<i>14</i>
<i>6.2.1.2. Tlačni cjevovod.....</i>	<i>15</i>
<i>6.2.1.3. Strojarnica.....</i>	<i>15</i>
<i>6.2.1.4. Odvodni kanal.....</i>	<i>16</i>
<i>6.2.2. Strojarske komponente.....</i>	<i>16</i>
<i>6.2.2.1. Turbina.....</i>	<i>16</i>
<i>6.2.2.1.1. Podjela prema načinu i mjestu gdje se zbiva pretvorba potencijalne energije vode u kinetičku.....</i>	<i>16</i>
<i>6.2.2.2. Multiplikator.....</i>	<i>22</i>
<i>6.2.3. Elektro komponente.....</i>	<i>22</i>
<i>6.2.3.1. Generator.....</i>	<i>23</i>
<i>6.2.3.2 Transformator.....</i>	<i>23</i>
<i>6.2.3.4 Automatika.....</i>	<i>24</i>
6.3. Utjecaj MHE na okoliš.....	25
7. HIDROPOTENCIJAL RIBOGOJILIŠTA KONČANICA.....	27
8. TIP TURBINE ZA MIKRO HIDROELEKTRANU.....	31

8.1. Odabir turbine.....	31
8.2. Karakteristike turbina.....	33
8.3. Odabir drugih strojno elektronskih dijelova.....	35
<i>8.3.1. Multiplikator</i>	<i>35</i>
<i>8.3.2. Generator</i>	<i>35</i>
<i>8.3.3. Transformator</i>	<i>36</i>
<i>8.3.4. Automatizacija</i>	<i>36</i>
9. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA	37
9.1. Podjela turbina po odgovarajućim ribnjacima	38
<i>9.1.1. Turbina 1</i>	<i>38</i>
<i>9.1.2. Turbina 2</i>	<i>39</i>
<i>9.1.3. Turbina 3</i>	<i>41</i>
9.2. Izračun isplativosti	42
10. ZAKLJUČAK.....	46
11. LITERATURA	47

1. POPIS SLIKA

Slika 1. Protočna hidroelektrana	12
Slika 2. Reverzibilna hidroelektrana	14
Slika 3. Komponente hidroelektrane	15
Slika 4. Tlačni cijevovod.....	16
Slika 5. Akcijska turbina	18
Slika 6. Pelton turbina	18
Slika 7. Turgo turbina.....	19
Slika 8. Crossflow turbina.....	20
Slika 9. Dijelovi crossflow turbine.....	20
Slika 10. Reakcijska turbina.....	21
Slika 11. Propelerna turbina	21
Slika 12. Francis turbina.....	22
Slika 13. Kaplan turbina.....	22
Slika 14. Dijagram za radna područja pojedine turbine	23
Slika 15. Shema multiplikatora	23
Slika 16. Transformator.....	24
Slika 17. Tlocrt ribnjaka.....	28

2. POPIS TABLICA

Tablica 1. Izračun troškova-algoritam	38
Tablica 2. Izračun troškova turbina 1	40
Tablica 3. Izračun troškova turbina 2	42
Tablica 4. Izračun troškova turbina 3	44
Tablica 5. Način otplate kredita	44
Tablica 6. Izračun isplativosti investicije	47

3. POPIS SIMBOLA

A -površina ribnjaka

l_{sr} – prosječna dubina ribnjaka

Q - protok

t_{pr} – vrijeme pražnjenja ribnjaka

P - snaga turbine

η_t - stupanj iskoristivosti turbine

H_g - ukupna raspoloživa visina

d - promjer upustnog cjevovoda

v - brzina strujanja u cjevovodu

H_n – neto pad

H_{tl} – ukupni gubitci visine

N_s – spec. brzina vrtnje turbine

N - brzina vrtnje turbine

D_0 – vanjski promjer turbine

t_e –debljina/širina ulaznog mlaza

t_B – razmak između lopatica (turbine)

β – nagibni kut lopatice

n -broj lopatica turbine

t_j –debljina/širina vodenog mlaza

L -duljina turbine

y_1 – udaljenost između vodenog mlaza i centra okna turbine

y_2 –udaljenost između vodenog mlaza i unutrašnjeg opsega/stjenke turbine

D_i –unutrašnji promjer turbine

r_c – zakrivljenost polumjera lopatice

α – kut strujanja

M – moment

ω – brzina vrtnje

$C_{el.eng.}$ – cijena električne energije prema HROTEC-u

y – dubina postavljanja cijevi

P_{el} – količina proizvedene električne energije

Z – zarada na turbini

T – troškovi ukupni za jedno postrojenje

I – vrijeme isplativosti investicije

R – rata kredita

k – faktor za izračun rate

4. SAŽETAK

Hidroelektrana je postrojenje u kojem se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetičku energiju njezinog strujanja, a potom u mehaničku energiju, te konačno u električnu energiju.

Hidroelektrana se sastoji od objekata i dijelova koji služe za:

1. sakupljanje vode
2. odvođenje vode
3. pretvorbu energije položaja vode u mehaničku energiju

Za izgradnju hidroelektrane potrebni su posebni uvjeti:

1. Idejno rješenje
2. Uvjeti uređenja prostora
3. Građevinska dozvola
4. Ugovor o najmu
5. Uporabna dozvola
6. Ugovor o isporuci električne energije

U odnosu na izgradnju drugih izvora energije, male hidroelektrane imaju mnogobrojne prednosti[1]:

- u odnosu na velike hidroelektrane, nema plavljenja širokih područja i narušavanja lokalnog ekološkog sistema
- mogu omogućiti navodnjavanje zemljišta, kao i snabdijevanje vodom okolnih naselja, izgradnju ribnjaka i zaštitu od poplava
- smanjuju ulaganja za elektrifikaciju udaljenih mjesta od opće električne mreže
- radni vijek je dug, praktički neograničen, prosječan vijek je 30 godina, premda ima mini hidroelektrana koje rade već 80 godina

Azija, osobito Kina postala je predvodnik u proizvodnji hidroelektrične energije. Današnji razvoj u Australiji i Novom Zelandu fokusira se uglavnom na male hidroelektrane. Kanada, zemlja sa dugom tradicijom korištenja hidroenergije, razvija male hidroelektrane kao zamjenu za dizel elektrane u udaljenim sredinama bez razvedene električne mreže.

Europa je druga u svjetskom doprinosu iz malih hidroelektrana, odmah iza Azije.

Postojeća metodologija planiranja izgradnje malih hidroelektrana u Republici Hrvatskoj pokazalo se neosjetljivom na suvremene zahtjeve za zaštitom prirode, okoliša i kulturne baštine.

5. UVOD

Sva energija na Zemlji potječe primarno iz 3 izvora:

1. sunčeva energija
2. nuklearna energija
3. gravitacijska energija

Pojavljaju se u akumulacijskim ili prijelaznim oblicima.

Razlikujemo primarne i sekundarne izvore energije.

Postoje obnovljivi i neobnovljivi izvori energije.

Obnovljivi izvori energije su energija vode, vjetra, solarna energija, bioenergija i sl.

Iskorištavanje energije vodnog potencijala ekonomski je konkurentno proizvodnji električne energije iz fosilnih i nuklearnog goriva, zato je hidroenergija najznačajniji obnovljivi izvor energije.

Od obnovljivih izvora energije, hidroelektrane su najraširenije.

Iako se energija rijeka i potoka u Hrvatskoj koristila tisućama godina (za pogon mlinova i sl.), sustavna istraživanja mogućnosti za njezino iskorištavanje u hidroenergetske svrhe u malim hidroelektranama na području Hrvatske započela su tek 1980. g.

6. MALE HIDROELEKTRANE, OSNOVNE KOMPONENTE I SHEMA

Hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetička energija samim strujanjem vode (u statoru turbine), a zatim se pretvara u mehaničku energiju (u rotoru turbine) vrtnjom vratila turbine te konačno u električnu energiju preko generatora. Odlukom Vlade RH u ožujku 1997. god. pokrenuti su nacionalni energetske programi energetske efikasnosti i korištenja energije obnovljivih izvora. Jedan od njih je i Nacionalni energetske program izgradnje malih hidroelektrana [Program MAHE], kojem je temeljni cilj omogućavanje svih uvjeta za povećanu izgradnju malih hidroelektrana u RH.

6.1 O malim hidroelektranama

U RH male hidroelektrane prema propisima je određena kao postrojenje za iskorištavanje energije vodotoka sa izlaznom električnom snagom od 10 kW pa do 10 MW, a što se tiče mikro hidroelektrana njihova snaga je do 500 kW. Sustav male hidroelektrane se sastoji od svih objekata i dijelova koji služe za skupljanje, dovodenje i odvođenje vode, za pretvaranje mehaničke u električnu energiju, za transformaciju i razvod el. energije. Razlikuju se sljedeći karakteristični dijelovi hidroelektrane: brana ili pregrada, zahvat, dovod, vodna komora, tlačni cjevovod, strojarnica (turbina, generator, ...) i odvod vode. Snaga hidroelektrane najviše ovisi o protoku i visinskoj razlici. Izbor tipa hidroelektrane ovisi u prvom redu o morfološkim karakteristikama pozicije [zbog potrebe ostvarivanja što je moguće većeg geodetskog pada uz minimiziranje cijene građevinskih a i drugih radova], urbanističkim zahtjevima, ekološkim zahtjevima i dr. Učinci koje hidroelektrana može imati na ekosustav zavise o 4 čimbenika.[2]:

1. Veličina i brzina protoka rijeke ili sl. na kojoj je hidroelektrana locirana.
2. Klimatski uvjeti i oblik sredine prije gradnje elektrane.
3. Vrsta, veličina i konstrukcija elektrane i način na koji je pogonski vođena.
4. Ako postoji više od jedne elektrana na istoj rijeci, i ako nisu relativno blizu jedna drugoj, moguće je da učinci na ekosustav jedne elektrane su zavisni o učincima druge elektrane.

Čimbenici 1 i 2 zavise od spektra kompleksnih geoloških, zemljopisnih i meteoroloških uvjeta. Ova dva čimbenika su najvažniji faktori pri određivanju veličine, vrste, konstrukcije i načina na koji će buduća elektrana raditi.

Loše posljedice koje gradnja hidroelektrane može imati na okoliš su sljedeće:

- Usporenje toka rijeke radi stvaranja akumulacijskih jezera i povećanje prosječne temperature vode.
- Povećanje udjela dušika u riječnoj vodi.
- Sedimentacija i erozija.
- Poplave.
- Klimatske promjene.
- Potencijalno povećanje tektonske aktivnosti područja.
- Potencijalno izumiranje nekih biljnih ili životinjskih vrsta.
- Poremećaj migracije ribljih vrsta.

6.1.1. Podjela malih hidroelektrana

Prema veličini akumulacijskog jezera:

- Dnevnom akumulacijom, kod kojih se akumulacija puni po noći, a prazni po danu
- Sezonskom akumulacijom, kod kojih se akumulacija puni tijekom kišnog, a prazni tijekom sušnog razdoblja
- Godišnjom akumulacijom, kod kojih se akumulacija puni tijekom kišnih, a prazni tijekom sušnih godina[3]

Prema visinskoj razlici male hidroelektrane se mogu svrstati u tri kategorije:

- Visoki pad: 100 m i više
- Srednji pad: 30-100 m
- Niski pad: 2-30 m

Na osnovu konfiguracije mikro lokacije i samog vodotoka male hidroelektrane dijele se na:

- -protočne

Protočne hidroelektrane su one čija se uzvodna akumulacija može isprazniti za manje od dva sata rada kod nazivne snage ili takva akumulacija uopće ne postoji. Kinetička energija vode se skoro direktno koristi za pokretanje turbina. Ako postoji akumulirana voda onda se može regulirat vodeni tok i elektrana može služiti kada je najveće opterećenje mreže ili za kontinuiranu proizvodnju električne energije dok bez akumulirane vode služi samo za najveća opterećenja mreže. Ovisne su o trenutno raspoloživom vodenom toku. Grade se na rijekama

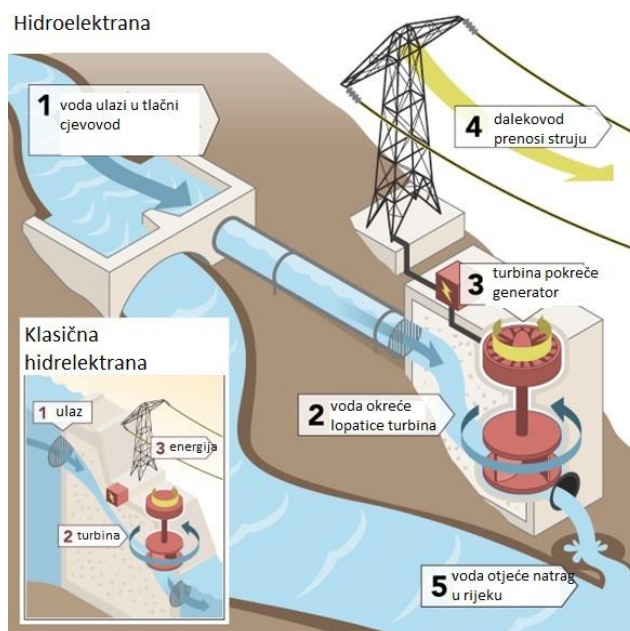
koje imaju konstantan protok tokom cijele godine ili imaju vrlo male razlike. Kinetička energija vode se skoro direktno koristi za pokretanje vodnih turbina[4].

Prednosti protočnih hidroelektrana:

- Imaju mali utjecaj na okoliš i izgradnjom protočnih elektrana smanjuje se utjecaj termoelektrana za vrijeme vršnih opterećenja mreže
- Ne stvara se akumulirana voda i voda ne mijenja svoj prirodni tok. Nije potrebno raseljavat okolno stanovništvo jer ne dolazi do poplava

Nedostaci protočnih hidroelektrana:

- Zbog toga što imaju malen vodeni kapacitet ili uopće nemaju, ne može zadovoljit ukupnu potražnju koju mreža zahtjeva
- Ovisi o prirodnom toku rijeke ,nemaju konstantnu proizvodnju električne energije tokom cijele godine



Slika 1. Protočna hidroelektrana

- akumulacijske

Akumulacijske su najčešće hidroelektrane, dobra strana je mogućnost akumulacije jeftinog izvora energije kad je ima u izobilju i planiranje potrošnje po potrebi. Snaga akumulacijske hidroelektrane zavisi o visini vodenog stupca između površine vode u akumulacijskom jezeru i odvodu koji se nalazi poslije vodene turbine. Rade na način da skladištu potencijalnu energiju stvaranjem akumulacijskog jezera. Tlačna cijev služi za protok vode od

akumulacijskog jezera do vodene turbine. Hidroelektrane se mogu podijeliti prema smještaju strojarnice, prema načinu korištenja vode, prema obujmu akumulacijskog bazena i raspoloživom padu.

- reverzibilne

To je posebna vrsta hidroelektrane koja osim što proizvodi električnu energiju iz vode kao i svaka druga hidroelektrana, tu istu vodu može pumpati u doba kada je to najisplativije, (najjeftinije) što je uglavnom noću. reverzibilne hidroelektrane, koja ima dva skladišta vodene mase. To su:

- Gornje akumulacijsko jezero je isto kao kod klasičnih hidroelektrana. Gradnjom brane osigurava se akumulacija vode, koja protiče kroz postrojenje i rezultira proizvodnjom električne energije.
- Donje akumulacijsko jezero ulijeva se u drugo, donje, akumulacijsko jezero, umjesto da se vraća u osnovni tok rijeke.

Reverzibilne elektrane su vrlo ekonomične jer poravnava razlike u opterećenju mreže. Reverzibilna turbina/generator može se ponašati i kao pumpa i kao turbina. U razdoblju niske potražnje električne energije voda se pumpa iz nižeg u viši spremnik vode. U razdoblju više potražnje za električnom energijom voda se propušta, kroz turbinu natrag u niži rezervoar i pritom se proizvodi električna struja. Ovaj tip hidroelektrana je najisplativiji za spremanje velike količine potencijalne energije vode koja može kasnije biti upotrijebljena za proizvodnju električne energije. Uzimajući u obzir gubitke uslijed isparavanja akumulirane vode i gubitke uslijed pretvorbe, približno 70% do 85% električne energije koja se koristi za pumpanje vode u viši spremnik može biti ponovno dobiveno, su kritični čimbenici pri odlučivanju o izgradnji. Relativno niska gustoća energije pumpanog spremnika iziskuje ili veliku količinu vode ili veliku razliku u visini između dvaju spremnika. Jedini način da stvorimo značajniju količinu električne energije je taj da imamo veliku količinu vode na što višem mjestu iznad donjeg spremnika. Na nekim područjima ovo se pojavljuje prirodno, a na nekim je čovjek svojim djelovanjem to omogućio. Novi planovi za sustave napumpanih spremnika je iskoristiti što je više moguće vjetroturbine ili solarnu energiju za pogon pumpi. To bi moglo omogućiti da cijeli proces bude mnogo učinkovitiji i da se uglade promjenjivosti energije dobivene od vjetra ili sunca.

Prednosti reverzibilnih hidroelektrana:

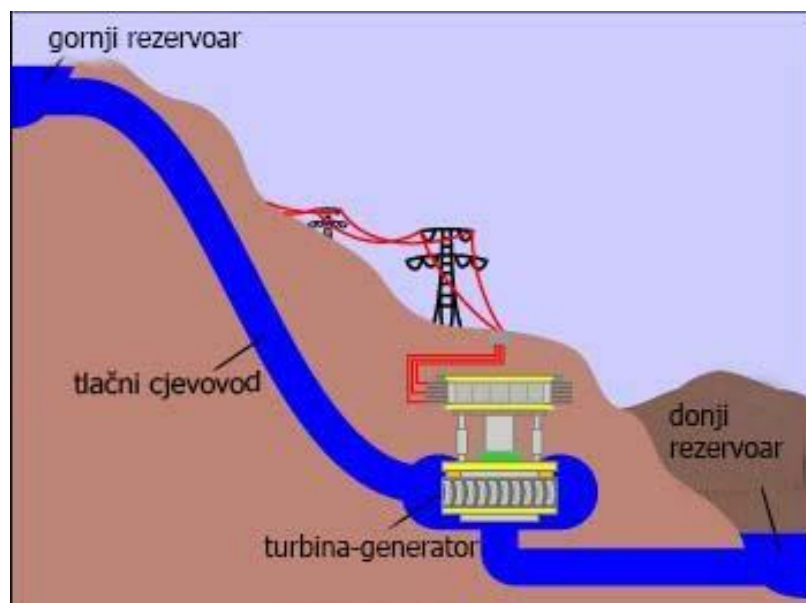
- Spremanje velike količine potencijalne energije vode , koja kasnije može biti upotrijebljena za proizvodnju električne energije
- Poravnava razlike u opterećenju mreže
- Dozvoljava termoelektranama , nuklearnim elektranama, obnovljivim izvorima da rade s vršnom iskoristivošću , a da pritom se izbjegne rad na maksimalnom opterećenju
- Velike uštede goriva za termoelektrane

Nedostaci reverzibilnih hidroelektrana.

- Veliki investicijski troškovi
- Ne može zadovoljit ukupnu potražnju koju mreža zahtjeva

Prema poziciji strojarnice u odnosu na branu male hidroelektrane se dijele na:

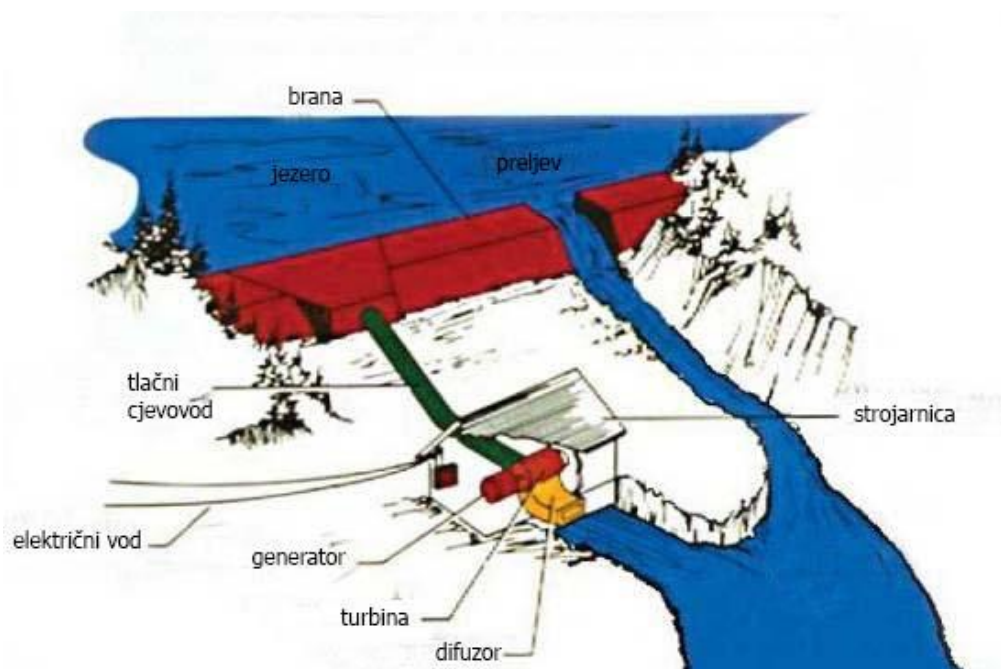
- pribranske
- derivacijske s otvorenim kanalom
- derivacijske sa zatvorenim kanalom
- s tlačnim cjevovodom



Slika 2. Reverzibilna hidroelektrana

6.2 Osnovne komponente

Mala hidroelektrana se sastoji od građevinskog objekta, hidromehaničke opreme, elektrostrojarske opreme te priključka na dalekovodnu mrežu.



Slika 3. Komponente hidroelektrane

6.2.1. Građevinske komponente

6.2.1.1. Brana

Brana je hidrotehnička građevina koja pregrađuje vodotok ili drugu vodenu masu radi zadržavanja razine vode na željenoj visini. Služi za različite namjene, kao što su stvaranje akumulacija (kontrolirano ispuštanje vode) ili retencija (privremeno zadržavanje vode), zahvat vode (za vodoopskrbu ili navodnjavanje), kanaliziranje vodotoka i u druge svrhe. Razina podignutoga vodostaja zove se uspor, a visina, za koju se vodostaj povrh brane podigao nad svoju prvobitnu razinu, usporna visina. Brana je temeljna, ako joj je kruna niža od razine neusporenog prirodnog vodostaja, u protivnom slučaju ona je slapna. Brane mogu biti stalne, pokretne ili mješovite. Stalne brane u cijelosti su nepomične masivne građevine, kojima se ne može regulirati vodostaj uzvodno od brane, a suvišak vode se prelijeva preko krune brane. Brane mogu biti nasute, od kamena (danas rijetko) ili armirano-betonske. Ako se vodostaj ne može regulirati, podižu se stalne brane većinom samo u gornjem toku planinskih vodotoka ili u duboko usječenim koritima, gdje dizanje vodostaja kod prelijevanja velikih

voda ne prouzrokuje štete na obalnom području. Stalne se brane grade do visine od približno 15 m; ako im je visina veća ili ako zatvaraju dolinu u brdovitom terenu, zovu se dolinske pregrade, a ako se grade od zemljanog nasipa, zovu se usporni nasipi. Brane visine do 15 m nazivaju se niske, više od toga nazivaju sevisoke. Dijelovi brana su preljev brane, zapornice, umjetno jezero i riblja staza(služi da omogući normalnu migraciju riba)[5].

6.2.1.2. Tlačni cjevovod

Tlačni cjevovod čelični cjevovod (dio cijevi može biti i betonski) hidroelektrane, koji je postavljen koso ili u nekim slučajevima okomito, a služi da se voda provodi do strojarnice, te završava nesimetričnom račvom kojom se voda dijeli pojedinim vodnim turbinama. Voda iz dovodnog tunela ili dovodnog kanala se dovodi vodnim turbinama nadzemnom ili podzemnom tlačnom cijevi. Taj je dio dovoda pod najvećim unutrašnjim tlakom, pa je skup i osjetljiv. Zato treba s posebnom pažnjom odabrati prolaz i način osiguranja. Kada se cijev polaze po površini terena, treba pronaći tlo koje se ne sliježe i koje nije ugroženo od klizanja i vanjskih oštećenja. Ako je kosina blago nagnuta, cijev je duga i skupa, a njena zaštita od vodnog udara složena.



Slika 4. Tlačni cjevovod

6.2.1.3. Strojarnica

Strojarnica, u širem smislu, je skup građevina i opreme koja se koristi za pretvaranje energije vode u električnu energiju i njenu predaju u distribucijsku mrežu. Položaj (dispozicija) strojarnice ovisi o cjelokupnom rješenju hidroelektrane i definira se na osnovi koncepcije korištenja energije konkretnog vodotoka, lokalnih uvjeta, sigurnosti u radu i ekonomskih

karakteristika rješenja (gospodarsko-tehnički kriteriji izbora rješenja i položaja strojarnice). Strojarnice mogu biti nadzemne i podzemne. Uz turbinu ili više njih u sklopu strojarnice nalazi se i druga osnovna oprema:

- generator(i)
- transformator(i)
- rasklopno postrojenje
- uređaji upravljanja, zaštite i dojave.

U strojarnici između navedenoga još se nalaze i pomoćni uređaji koji omogućuju sigurnu i dugotrajnu proizvodnju električne energije.

Pomoćni uređaji obuhvaćaju:

- vlastitu potrošnju
- opskrbu izmjeničnim naponom
- opskrbu istosmjernim naponom
- opskrbu komprimiranim zrakom
- rashladni i drenažni sustav
- dizalice i unutarnji transport
- uljno gospodarstvo

6.2.1.4. Odvodni kanal

Služi za odvod vode iz strojarnice u rijeku

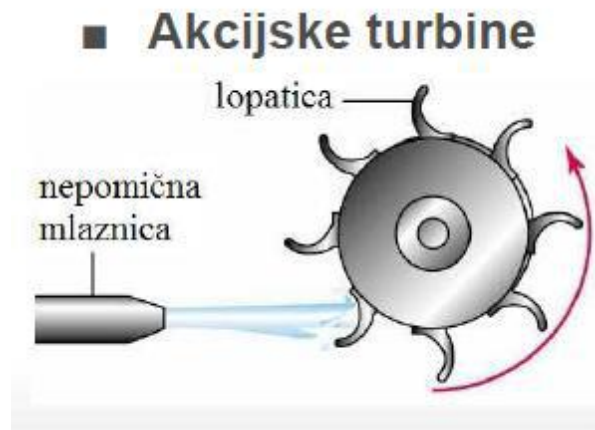
6.2.2. Strojarske komponente

6.2.2.1. Turbina

6.2.2.1.1. Podjela prema načinu i mjestu gdje se zbiva pretvorba potencijalne energije vode u kinetičku:

Akcijske (impulsne, istotlačne) turbine:

Kod akcijskih turbina se potencijalna energija vode pretvara u kinetičku samo unutar provodnih (statorskih) lopatica gdje se tlak vode smanjuje, a povećava se brzina. Tlak vode kroz rotorske lopatice, kod akcijskih (impulsnih, istotlačnih) vodnih turbina, ostaje nepromijenjen, dok se brzina smanjuje zbog pretvorbe kinetičke energije u mehaničku.

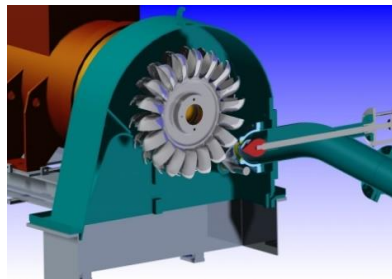


Slika 5. Akcijska turbina

Pod akcijske turbine spadaju:

1. Pelton:

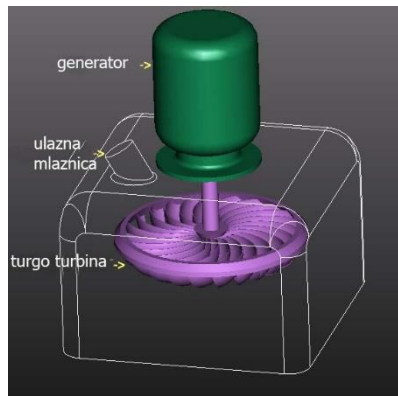
To je vodna turbina koja se koristi za velike padove do preko 200m i manje protoke vode. Onda je među turbinama s najvećim stupnjem iskorištenja, a geometrija joj je tako podešena da se one okreću sa poda brzine mlaza vode te koriste skoro svu količinu gibanja mlaza vode, koji napušta turbinu gotovo bez ikakve brzine. Peltonova turbina nije potopljena u vodi i lopatice se okreću u zraku.



Slika 6. Pelton turbina

2. Turgo:

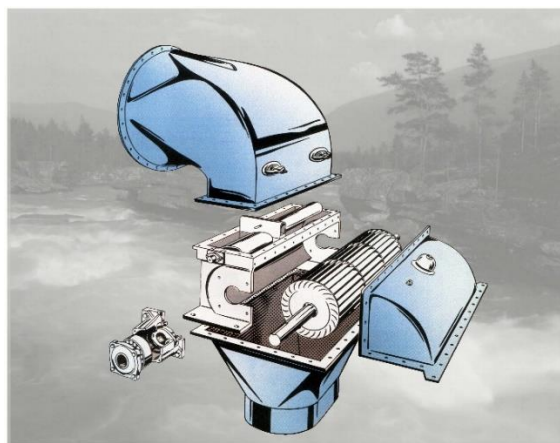
Turgo turbina slična je kao Peltonova turbina, s razlikom da vodeni mlaz prilazi bočno rotoru. One se koriste za srednje padove vode od 50 do 250 m te mogu podnijeti veći protok od Peltonovih. Stupanj iskorištenja im može dostići do 87%



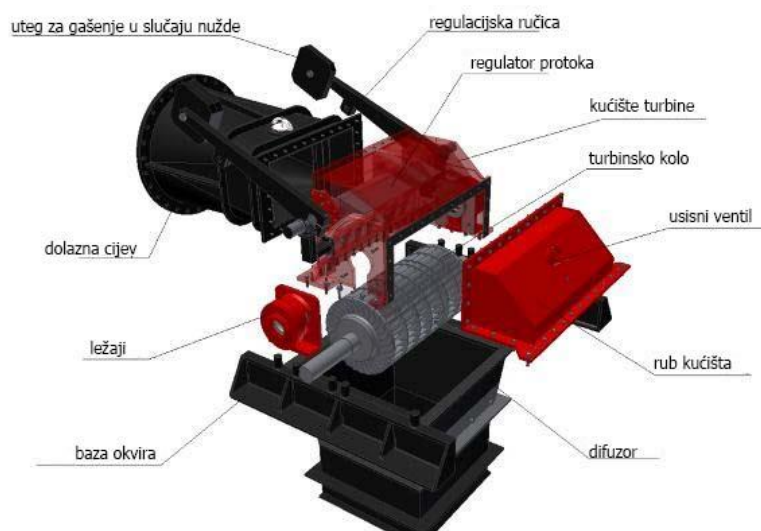
Slika 7. Turgo turbina

3. Crossflow:

Crossflow turbina se koristi za padove vode od 3 do 200 m. Ima tangencijalni raspored lopatica radnog kola, s vodoravnim vratilom. Prema radnim okretajima spada među sporohodne turbine. Razvodni sustav usmjerava vodni mlaz, tako da kroz vijenac lopatica ulazi u unutrašnji prostor rotora i dalje nastavlja kroz drugi protok s unutrašnje strane rotora van i do kućišta turbine. Iz kućišta turbine voda oteče ili slobodno ili sifonom u odvod ispod turbine. U praksi ovakav tok vode u rotoru omogućuje samo čišćenje. Nečistoće koje pri ulasku vode u rotor upadnu među lopatice, pod djelovanjem centrifugalne sile i protoka vode izbacuju se nakon polovine svakog okreta ponovno van prostora rotora i odlaze u odvod. Ukoliko je količina vode u vodnom toku promjenjiva, protočna turbina se konstruira kao dvokomorna. Standardna raspodjela dovodnih komora je u odnosu 1:2. Uža komora prima mali protok vode, a šira veći protok vode, a zajedno primaju maksimalni protok vode. Takvom raspodjelom količina vode iskorištena je u rasponu punog protoka s optimalnim učinkom sve do njegove $1/6$. Protočne turbine su na ovaj način veoma učinkovite, s učinkom preko 80% iskorištavaju i veoma promjenjive protoke rijeka. Veće turbine na višim padovima dostižu učinak i do 87%.



Slika 8. Crossflow turbina

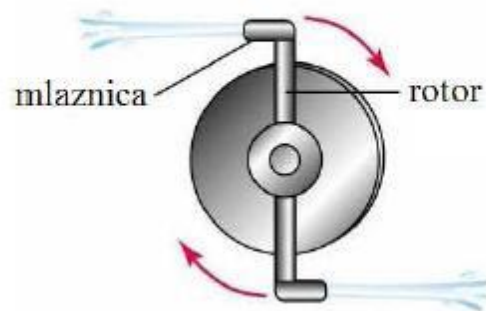


Slika 9. Dijelovi crossflow turbine

Reakcijske(pretlačne) vodne turbine:

Kod reakcijskih vodnih turbina snaga proizlazi iz pada tlaka na turbini, potpuno su uronjene u vodu, a obodna brzina se pretvara u snagu osovine.

■ Reakcijske turbine



Slika 10. Reakcijska turbina

Pod reakcijske turbine spadaju:

1. Propelerna:

Ona je kao kaplanova samo s nepomičnim rotorskim lopaticama



Slika 11. Propelerna turbina

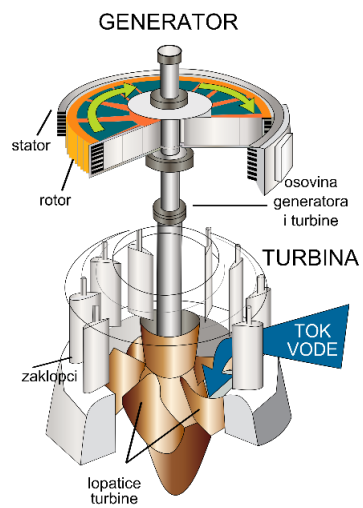
2. Francisova:



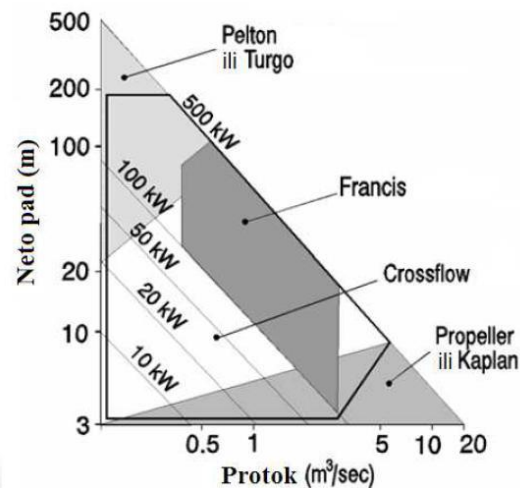
Slika 12. Francis turbina

3. Kaplanova:

Kaplanove turbine spadaju u reakcijsketurbine s aksijalnim protokom vode koja iz spiralnoga kućišta prolazi kroz statorske, a zatim kroz rotorske lopatice koje su podesive da bi se mogle optimalno podešavati obzirom na raspoloživi protok i visinu.



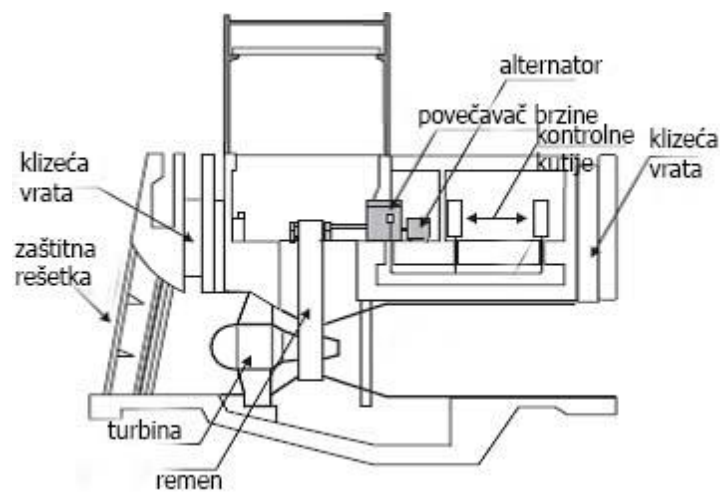
Slika 13. Kaplan turbina



Slika 14. Dijagram za radna područja pojedinih turbina

6.2.2.2. Multiplikator

Kod hidroelektrana, kod kojih je geodetskih padova manjih od 20m potrebno je instalirati multiplikator. Pošto je broj okretaja turbine u optimalnoj radnoj točki nizak. Te on povećava broj okretaja turbine na broj okretaja generatora. Svojstvo multiplikatore je to što mu se moment sile na izlazu smanjuje.



Slika 15. Shema multiplikatora

6.2.3. Elektro komponente

6.2.3.1. Generator

Svrha generatora je da pretvaraju mehaničku energiju u električnu.

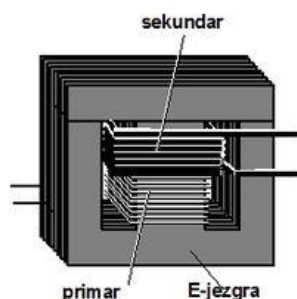
Vrste generatora:

Asinkroni: često su najjednostavnije i najjeftinije rješenje za male hidroelektrane koje proizvode električnu energiju za isporuku u postojeću veliku elektroenergetsku mrežu. Za normalno funkcioniranje mora biti u vezi sa ostalim generatorima (odnosno priključen na elektroenergetski sustav).

Sinkroni: može raditi i u motorskom i generatorskom režimu rada. U generatorskom režimu osovina stroja okreće vanjski izvor mehaničkog rada, a na statoru se inducira izmjenični napon. Sinkroni generatori se koriste kao primarni izvori proizvodnje energije u elektroenergetskim sustavima, ali također i u manjim izoliranim mrežama kao i za samostalne primjene malih hidroelektrana.

6.2.3.2. Transformator

Transformator je statički električni uređaj u kojem se električna energija iz jednog ili više izmjeničnih krugova koji napajaju primarne namotaje transformatora prenosi u jedan ili više izmjeničnih krugova napajanih iz sekundarnih namota transformatora s izmijenjenim iznosima jakosti struje i napona, te nepromijenjenom frekvencijom. Rad transformatora zasniva se na Faradejevom zakonu elektromagnetske indukcije prema kojem vremenska promjena magnetskog toka ulančanog vodljivom petljom inducira u petlji napon, dok struja uzrokovana tim naponom stvara magnetski tok koji se, u skladu s Lentzovim zakonom, opire promjeni toka koji je inducirao napon.



Slika 16. Transformator

Jednostavnije rečeno, izmjenična struja primara koja tokom vremena jakost mijenja po sinusoidi, u željeznoj jezgri transformatora proizvodi isto tako promjenjiv magnetski tok.

Umetne li se u tako stvoreno promjenjivo magnetsko polje u okolini jezgre drugi namotaj (sekundar), u njemu će se po pravilima elektromagnetske indukcije pobuditi također sinusoidni izmjenični napon. Zbog pojave samoindukcije, posljedično induciranoj struji sekundara, opirat će se induktivni otpor namotaja.

6.2.3.3. Automatizacija

Male hidroelektrane obično su bez nadzora i upravljane putem automatskog upravljačkog sustava. Budući da nisu sve elektrane jednake, gotovo je nemoguće utvrditi opseg automatizacije koji bi trebao biti uključen u određenom sustavu, ali neki zahtjevi su standardni:

- sva oprema mora biti opremljena sa ručnim upravljanjem i biti potpuno neovisna o programskoj kontroli koja će se koristiti samo za početak rada i postupke održavanja.
- sustav mora sadržavati potrebne uređaje za otkrivanje kvara ozbiljne prirode, a zatim djelovati kako bi jedinice ili cijelo postrojenja bilo osigurano.
- relevantni operativni podaci male elektrane trebaju biti prikupljeni i uvijek na raspolaganju za donošenje poslovnih odluka, te pohranjeni u bazu podataka za kasnije.
- inteligentni sustav kontrole treba biti uključen kako bi se omogućio rad pogona u okruženju bez nadzora.
- mora biti moguće pristupiti kontroli sustava s udaljenog mjesta te biti u mogućnosti zaobići bilo koju automatsku odluku.
- sustav bi trebao biti u mogućnosti komunicirati sa sličnim jedinicama, kako uzvodno tako i nizvodno, ukoliko iste postoje, u svrhu optimizacije operativnih postupaka.
- predviđanje kvara predstavlja poboljšanje sustava kontrole. Korištenjem stručnih sustava, u koji se unosi operativne podatke, moguće je predvidjeti kvarove prije nego su nastali i poduzeti korektivne akcije, tako da se kvar ne pojavi.

6.3. Utjecaj MHE na okoliš

Male hidroelektrane, u slučaju da su izbor lokacije i tehnološkog rješenja primjereni, nema gotovo nikakvih štetnih utjecaja na okoliš. Ako taj utjecaj i postoji, onda je on toliko mali da ne može biti mjerljiv i ne može se sa sigurnošću pripisati postojanju i radu male hidroelektrane, a ne nekom drugom od mogućih utjecaja[6].

Prednosti iskorištenja energije vodotoka se u prvom redu očituju u eliminiranju emisija štetnih plinova u atmosferu koju susrećemo kod elektrana na fosilna goriva. Dok je kod velikih hidroelektrana, kao posljedica gradnje velike brane sa zaštitnim mrežama koje se nalaze prije

ulaska u turbinski dovodni kanal ipak prisutna emisija metana zbog zadržavanja žive tvari na zaštitnoj mreži koja tamo truli i emitira metan kao posljedicu procesa raspada organske materije, kod malih hidroelektrana brane su male, preljevne, a u slučaju, tzv., tirolskog zahvata kanal ne smije sadržavati zaštitnu mrežu i voda sa svim tvarima koje nosi sa sobom u nepromijenjenom sadržaju struji kanalom. Ovakva filozofija gradnje i tehnologija u potpunosti isključuje ikakve štetne emisije u atmosferu.

Procjena je da male hidroelektrane, instalirane snage od oko 5 MW, godišnjom produkcijom energije zamjenjuju oko 1400 tona fosilnih goriva, a time i smanjuju emisiju stakleničkih plinova u količini od 16 000 tona CO₂ i 1100 tona SO₂ godišnje. Zagađenje bukom je ispod svih minimalnih propisanih i predloženih razina zbog sofisticirane tehnologije koja je danas postala pravilo pri konstruiranju strojarnice male hidroelektrane.

Pri planiranju gradnje male hidroelektrane posebnu pozornost treba posvetiti:

- adekvatnom izboru lokacija malih hidroelektrana
- protoku vode
- riziku od pogrešnog gospodarenja vodenim resursima
- nedostatku biološkog minimuma količine vode
- utjecaju na floru i faunu

Također bi trebalo posebno naglasiti doprinos takvih postrojenja razvitku gospodarstva, pogotovo u nerazvijenim i dislociranim područjima.

6.3.1. Tehnička rješenja malih hidroelektrana u cilju zaštite okoliša

Da bi se hidroelektrana smatrala malom hidroelektranom, sa ciljem zaštite okoliša, pod samim pojmom se kategoriziraju energetske objekti koji iskorištavaju hidropotencijal, a istovremeno imaju sljedeća svojstva:

- karakterizira ih protočni rad ili iznimno mala akumulacija (minimiziran utjecaj na vodotok)
- paralelan rad sa mrežom i ugradnja asinkronih generatora
- kod objekata sa instaliranom snagom manjom od 100 kW nema gradnje trafostanice već se predviđa izvedba transformatora na stupu
- postrojenje se sastoji od brane (niskog preljevnog praga), dovodnog kanala i/ili cjevovoda, zgrade strojarnice i odvodnog kanala
- preljevni prag služi samo zato da uspori vodotok prije ulaska u dovodni kanal

- umjesto niskog preljevnog kanala može se upotrijebiti tzv. tirolski zahvat
- dovodni kanal zatvorenog tipa predviđen je samo za vođenje zahvaćene vode po strmim obroncima i većim dijelom je ukopan (može biti i potpuno ukopan)
- dovodni kanal otvorenog tipa predviđen je za veće količine vode i u pravilu se nalazi na manje strmim terenima
- tlačni cjevovod treba biti što manjih dimenzija i predviđen je da vodu najkraćim putem dovede do strojarnice
- zgrada strojarnice je što manjih gabarita i operacija je u potpunosti automatizirana
- odvodni kanal je otvoren i kratak i njime se voda vraća iz strojarnice u vodotok (ova voda je gotovo redovito jako obogaćena kisikom, tako da se ribe rado zadržavaju u ovom području)

Ako se pri kategorizaciji i projektiranju malih hidroelektrana drži ovih načela utjecaji na okoliš su svedeni na minimum.

7. HIDRO POTENCIJAL RIBOGOJILIŠTA KONČANICA

Hidro potencijal ribogojilišta Končanica, odnosno geodetske padove i protoke pojedinih ribnjaka odrediti će se na temelju dostavljenih podataka. Točnije iz dane površine te prosječne dubine ribnjaka odrediti će volumen vode, a iz vremena pražnjenja pojedinog ribnjaka odrediti će se protok. Nadalje što se tiče geodetskog pada, on je dan sa strane izvođača radova tj. jednak je visini ispusnih kanala, što ovisno o ribnjaku iznosi od 3-4m. Na geodetske padove kod nekih ribnjaka se može utjecati iskapanjem zemlje iza ribnjaka što bi pridonijelo povećanju snage vodene turbine.

Slijedi prikaz traženih podataka, te mogućnost iskapanja jame iza ribnjaka za pojedine ribnjake, ribnjak ukupno ima 24 od kojih će se nabrojati samo oni koji se mogu najbolje iskoristiti za iskorištavanje vodnog potencijala:



Slika 17. Tlocrt ribnjaka

Ribnjak br.1:

$$A = 154 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 35 \text{ dana}$$

$$Q = 154 * 10000 * \frac{1,3}{35*24*3600} = 0,662 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.2

$$A = 120 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 25 \text{ dana}$$

$$Q = 120 * 10000 * \frac{1,3}{25*24*3600} = 0,722 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.3

$$A = 86 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 20 \text{ dana}$$

$$Q = 86 * 10000 * \frac{1,3}{20*24*3600} = 0,647 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.4 i 5 (idu na isti ispust)

Nema mogućnosti za povećanje visine

$$A = 78 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 35 \text{ dana}$$

$$Q = 78 * 10000 * \frac{1,3}{35*1,3*3600} = 0,335 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.7

Nema mogućnosti za povećanje visine

$$A = 45 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 30 \text{ dana}$$

$$Q = 45 * 10000 * \frac{1,3}{30*24*3600} = 0,226 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.9 i 10 (idu na isti ispust)

$$A = 24 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 20 \text{ dana}$$

$$Q = 24 * 10000 * \frac{1,3}{20*24*3600} = 0,181 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.11,12 i 13 (idu na isti ispust)

Nema mogućnosti za povećanje visine

$$A = 64 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 35 \text{ dana}$$

$$Q = 64 * 10000 * \frac{1,3}{35*24*3600} = 0,275 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br. 14 i 15 (idu na isti ispust)

Nema mogućnosti za povećanje visine

$$A = 98 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 35 \text{ dana}$$

$$Q = 98 * 10000 * \frac{1,3}{35*24*3600} = 0,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.16 i 18 (idu na isti ispust)

Nema mogućnosti za povećanje visine

$$A = 120 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 40 \text{ dana}$$

$$Q = 120 * 10000 * \frac{1,3}{40*24*3600} = 0,451 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.19 i 20 (idu na isti ispust)

Nema mogućnosti za povećanje visine

$$A = 54 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 30 \text{ dana}$$

$$Q = 54 * 10000 * \frac{1,3}{30*24*3600} = 0,271 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.23 i 8(idu na isti ispust)

$$A = 37 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 25 \text{ dana}$$

$$Q = 37 * 10000 * \frac{1,3}{25*24*3600} = 0,223 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ribnjak br.24

$$A = 150 \text{ ha}$$

$$l_{sr} = 1,3 \text{ m}$$

$$t_{pr} = 35 \text{ dana}$$

$$Q = 150 * 10000 * \frac{1,3}{35*24*3600} = 0,645 \text{ m}^3/\text{s}$$

8. TIP TURBINE ZA MIKRO HIDROELEKTRANU

Turbina je rotacijski motor koji izdvaja energiju iz fluida i pretvara u koristan rad. Najjednostavnije turbine imaju jedan pomični dio, rotor, a to je vratilo ili bubanj, sa lopaticama. Protok fluida djeluje na lopatice tako da se okreću te predaju energiju na rotor koji kasnije pogoni generator te se stvara električna energija. Izbor tipa, oblika i dimenzija turbine prvenstveno ovisi o neto padu, instaliranom protoku, brzini vrtnje koja određuje tip i osnovni oblik rotora turbine i ostalih dijelova, brzini pobjega [najveća brzina koja se može postići bez priključenog električnog opterećenja] i troškovima izgradnje male hidroelektrane. Male vodne turbine mogu postići učinkovitost od 90%.

Temeljem prije izračunatih hidro potencijala pojedinih ribnjaka na ribogojilištu Končanica, izvršit ćemo odabir najpogodnije turbine za instalaciju u mikro hidroelektranu.

8.1. Odabir turbine

Radi upravljanja vodenim potencijalom odabrati ćemo tri razne turbine:

Prva je za ribnjake broj 1, 2, 3, 24 koji imaju protoke iznad $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$

Te u tim ribnjacima postoji mogućnost iskopa jame radi povećanja ukupnoga pada tako da bismo mogli dobiti ukupni pad od 8 m.

Vrijeme trajanja ispusta tih ribnjaka zajedno traje 115 dana

Snaga će iznositi:

$$P = 9,81 * Q * H * \eta_t = 9,81 * 0,67 * 8 * 0,85 = 45 \text{ kW}$$

Druga je za ribnjake koji nemaju mogućnost povećanja ukupne visinske razlike te im je protok između $0,25$ do $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$, to su ribnjaci broj 4 i 5; 11, 12 i 13; 14 i 15; 16 i 18; 19 i 20

Visinska razlika im iznosi 4m, a ukupno vrijeme pražnjenja im je 175 dana

Snaga će iznositi:

$$P = 9,81 * Q * H * \eta_t = 9,81 * 0,325 * 4 * 0,85 = 11 \text{ kW}$$

Treća je za ribnjake sa protokom od $0,15$ do $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, a pod te ribnjake spadaju ribnjaci broj 7; 9 i 10; 23 i 8;

Visinska razlika im iznosi 4 metra, a ukupno vrijeme pražnjenja im je 75 dana, s time da je 23 ribnjak sportski kroz koji bi se uz dobru regulaciju mogao osigurati protok cijele godine.

Snaga će iznositi:

$$P = 9,81 * Q * H * \eta_t = 9,81 * 0,2 * 4 * 0,85 = 7 \text{ kW}$$

Radi toga što je protok nam promjenjiv, te postoji mogućnost za ulazak nečistoća najbolji izbor bi bila crossflow turbina

Brojevi okretaja izabranih turbina za izračunata tri slučaja su jednaka:

1. Slučaj turbina snaga:

$$P = 45 \text{ kW}$$

Srednji protok:

$$Q = 0,67 \text{ m}^3/\text{s}$$

Upustni cjevovod je dimenzije:

$$d = 0,6 \text{ m}$$

Površina cjevovoda:

$$A = \frac{(d^2 * \pi)}{4} = \frac{0,6^2 * \pi}{4} = 0,353 \text{ m}^2$$

Brzina strujanja u cjevovodu:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,67}{0,353} = 1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2. Slučaj turbine snage:

$$P = 11 \text{ kW}$$

Srednji protok:

$$Q = 0,325 \text{ m}^3/\text{s}$$

Upustni cjevovod je dimenzije:

$$d = 0,6 \text{ m}$$

Površina cjevovoda:

$$A = \frac{(d^2 * \pi)}{4} = \frac{0,6^2 * \pi}{4} = 0,353 \text{ m}^2$$

Brzina strujanja u cjevovodu:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,325}{0,353} = 0,92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3. Slučaj turbine snage:

$$P=7 \text{ kW}$$

Srednji protok:

$$Q=0,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Upustni cjevovod je dimenzije:

$$d=0,6 \text{ m}$$

Površina cjevovoda:

$$A = \frac{(d^2 * \pi)}{4} = \frac{0,6^2 * \pi}{4} = 0,353 \text{ m}^2$$

Brzina strujanja u cjevovodu:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,2}{0,353} = 0,57 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

8.2. Karakteristike turbine

Turbina 1:

$$H_n = H_g - H_{tl} = 8 - 8 * 0,06 = 7,52 \text{ m}$$

$$N_s = \frac{513,25}{H_n^{0,505}} = \frac{513,25}{7,52^{0,505}} = 182,28 \text{ }^\circ/\text{min}$$

$$N = \frac{513,25 * H_n^{0,745}}{\sqrt{P_t}} = \frac{513,25 * 7,52^{0,745}}{\sqrt{45}} = 343,96 \text{ }^\circ/\text{min}$$

$$D_0 = \frac{40 * \sqrt{H_n}}{N} = \frac{40 * \sqrt{7,52}}{343,96} = 0,32 \text{ m}$$

$$t_e = K * D_0 = 0,087 * 0,32 = 0,0278 \text{ m}$$

$$t_b = \frac{t_e}{\sin(\beta_1)} = \frac{0,0278}{\sin(30)} = 0,0557 \text{ m samo za slučaj kuta } \beta_1 = 30^\circ \text{ i sto je kao i } a \text{ u tom slučaju}$$

$$n = \frac{\pi * D_0}{t_b} = \frac{\pi * 0,32}{0,0557} = 18$$

$$t_j = 0,29 * D_0 = 0,29 * 0,32 = 0,0928 \text{ m}$$

$$L = \frac{Q * N}{50 * H_n} = \frac{0,67 * 343,96}{50 * 7,52} = 0,613 \text{ m}$$

$$y_1 = 0,116 * D_0 = 0,116 * 0,32 = 0,0371 \text{ m}$$

$$y_2 = 0,05 * D_0 = 0,05 * 0,32 = 0,016 \text{ m}$$

$$D_i = D_0 * a = 0,32 * 0,0557 = 0,0178 \text{ m}$$

$$r_c = 0,163 * D_0 = 0,163 * 0,32 = 0,0522 \text{ m}$$

$$\alpha = 16^\circ$$

Turbina 2:

$$H_n = H_g - H_{tl} = 4 - 4 * 0,06 = 3,76 \text{ m}$$

$$N_s = \frac{513,25}{H_n^{0,505}} = \frac{513,25}{3,76^{0,505}} = 262,94 \text{ }^\circ/\text{min}$$

$$N = \frac{513,25 * H_n^{0,745}}{\sqrt{P_t}} = \frac{513,25 * 3,76^{0,745}}{\sqrt{11}} = 415,1 \text{ }^\circ/\text{min}$$

$$D_0 = \frac{40 * \sqrt{H_n}}{N} = \frac{40 * \sqrt{3,76}}{415,1} = 0,187 \text{ m}$$

$$t_e = K * D_0 = 0,087 * 0,187 = 0,0163 \text{ m}$$

$$t_b = \frac{t_e}{\sin(\beta_1)} = \frac{0,0163}{\sin(30)} = 0,0325 \text{ m}$$
 samo za slučaj kuta $\beta_1 = 30^\circ$ i sto je kao i a u tom slučaju

$$n = \frac{\pi * D_0}{t_b} = \frac{\pi * 0,187}{0,0325} = 18$$

$$t_j = 0,29 * D_0 = 0,29 * 0,187 = 0,0542 \text{ m}$$

$$L = \frac{Q * N}{50 * H_n} = \frac{0,325 * 415,1}{50 * 3,76} = 0,718 \text{ m}$$

$$y_1 = 0,116 * D_0 = 0,116 * 0,187 = 0,0217 \text{ m}$$

$$y_2 = 0,05 * D_0 = 0,05 * 0,187 = 0,0094 \text{ m}$$

$$D_i = D_0 * a = 0,187 * 0,0163 = 0,003 \text{ m}$$

$$r_c = 0,163 * D_0 = 0,163 * 0,187 = 0,03 \text{ m}$$

$$\alpha = 16^\circ$$

Turbina 3:

$$H_n = H_g - H_{tl} = 4 - 4 * 0,06 = 3,76 \text{ m}$$

$$N_s = \frac{513,25}{H_n^{0,505}} = \frac{513,25}{3,76^{0,505}} = 262,94 \text{ }^\circ/\text{min}$$

$$N = \frac{513,25 * H_n^{0,745}}{\sqrt{P_t}} = \frac{513,25 * 3,76^{0,745}}{\sqrt{7}} = 520,35 \text{ }^\circ/\text{min}$$

$$D_0 = \frac{40 \cdot \sqrt{H_n}}{N} = \frac{40 \cdot \sqrt{3,76}}{520,35} = 0,149 \text{ m}$$

$$t_e = K \cdot D_0 = 0,087 \cdot 0,149 = 0,013 \text{ m}$$

$$t_b = \frac{t_e}{\sin(\beta_1)} = \frac{0,013}{\sin(30)} = 0,0259 \text{ m samo za slučaj kuta } \beta_1 = 30^\circ \text{ i sto je kao i } a \text{ u tom slučaju}$$

$$n = \frac{\pi \cdot D_0}{t_b} = \frac{\pi \cdot 0,149}{0,0259} = 18$$

$$t_j = 0,29 \cdot D_0 = 0,29 \cdot 0,149 = 0,0432 \text{ m}$$

$$L = \frac{Q \cdot N}{50 \cdot H_n} = \frac{0,2 \cdot 520,35}{50 \cdot 3,76} = 0,5536 \text{ m}$$

$$y_1 = 0,116 \cdot D_0 = 0,116 \cdot 0,149 = 0,0173 \text{ m}$$

$$y_2 = 0,05 \cdot D_0 = 0,05 \cdot 0,149 = 0,0075 \text{ m}$$

$$D_i = D_0 \cdot a = 0,149 \cdot 0,013 = 0,00194 \text{ m}$$

$$r_c = 0,163 \cdot D_0 = 0,163 \cdot 0,149 = 0,0243 \text{ m}$$

$$\alpha = 16^\circ \quad [7]$$

8.3. Odabir drugih strojno elektronskih dijelova

8.3.1. Multiplikator

Kod hidroelektrana, kod kojih je geodetskih padova manjih od 20m potrebno je instalirati multiplikator. Pošto je broj okretaja turbine u optimalnoj radnoj točki nizak. Te on povećava broj okretaja turbine na broj okretaja generatora. Svojstvo multiplikatore je to što mu se moment sile na izlazu smanjuje.

8.3.2. Odabir generatora

Odabrati će se sinkroni generator radi toga što mu nije potreban napon za pobudu, ako je s permanentnim magnetima što će se koristiti na lokacijama gdje nema pristup mreži, a kada imamo pristup mreži koristiti ćemo sinkrone sa namotajima

Za prvu turbinu:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{45000}{2 \cdot \pi \cdot 5,73} = 1249,33 \text{ Nm}$$

Za drugu turbinu:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{11000}{2 \cdot \pi \cdot 6,92} = 253,05 \text{ Nm}$$

Za treću turbinu:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{7000}{2 \cdot \pi \cdot 8,67} = 128,46 \text{ Nm}$$

Na temelju momenta se odredi masa motora, te se odgovarajući pronade u katalogu.

8.3.3. Transformator

Pošto su snage turbina ispod 100 kW, nema potrebe za instalacijom transformatora, pošto se tek iznad 100 kW predviđa priključak na mrežu višeg napona, pa je transformacija napona neizbježna, a kod manjih snaga spaja se direktno na mrežu.

8.3.4. Automatizacija

Ona nam je potrebna pošto ćemo imati više dovodnih cijevi da osigura protok u zadanim granicama, te da kontrolira ostale parametre.

9. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

U ovom poglavlju je cilj dokazati isplativost ulaganja u mikro hidroelektrane tj. kada će biti povrat investicije *Ribnjačarstva Končanice* u njihove tri turbine, a po prilici i povećati njihov broj. Cijena električne energije subvencionirana iznosi po HROTE-u

$$C_{el.eng} = 1,07 \text{ kn/kWh}$$

Pomoću programa SMART ćemo odrediti cijenu troškova i to na način[8]

Tablica 1. Izračun troškova- algoritam

Snaga Turbine	P	kW
Dubina postavljanja cijevi	y	m
Promjer cijevi	d	m
Protok	q	m^3/s
Cijena ulaznog bazena	$= 0,90725 * (0,1111 * q^4 + 0,3222 * q - 0,0111)$	mil. kn
Cijena elektrane sa istim protokom	$= 0,90725 * (0,44 * q^{0,74})$	mil. kn
Cijena izgradnje brane (vanjske cijevi)	$= (212 * d^2 + 880 * d + 333) * 0,90725$	kn
Cijena podzemnih cijevi	$= (48 * y^2 + 240 * y) * 0,90725$	kn
Cijena turbine (Kaplanove)-veličina glave 5m	$= (10272 * q^{-0,2154}) * 0,90725$	kn/kW
Cijena poklopca ili ventila	$= (348727 * d^4 - 805810 * d^3 - 146648 * d + 9932 + 632823 * d^2) * 0,90725$	kn
Cijena zaštitne rešetke	$= \left(3604 * q * \frac{3}{2} + 1414 \right) * 0,90725$	kn
Cijena PE-cijevi PN10	$= (4802 * d^2 - 95,4 * d + 8,6) * 0,90725$	kn/m
Cijena generatora preko 500 kW	$= (2134 * P^{0,8434}) * 0,90725$	kn
Cijena transformatora za dostavu 22kV distribucijske mreže	$= (67,1 * P + 29258) * 0,90725$	kn
Cijena instalacije 500-1000 kW	$= 200.000,00 * 0,90725$	kn
Cijena trafo-stanice	$= (632 * P^{0,9755}) * 0,90725$	kn
Cijena energetske mreže	$= 60,00 * 0,90725$	kn/m
Godišnja cijena održavanja	$= 20,00 * 0,90725$	kn/MWh
Trajnost (ekonomska isplativost)	55	god

9.1. Podjela turbina po odgovarajućim ribnjacima

9.1.1. Turbina 1

$$P=45 \text{ kW}; Q=0,62-0,72 \text{ m}^3/\text{s}$$

Trajanje ispuštanja ribnjaka 115 dana

Količina proizvedene el. energije u godini iznosi:

$$P_{el1} = P * \text{trajanje ispuštanja}(u \text{ satima}) = 45 * 115 * 24 = 124200 \text{ kWh}$$

Zarada na turbini:

$$Z_1 = P_{el1} * C_{el.eng.} = 124200 * 1,07 = 132.894,00 \text{ kn}$$

Tablica 2. Izračun troškova turbina 1

Snaga Turbine	45	kW
Dubina postavljanja cijevi	1	m
Promjer cijevi	0,6	m
Protok	0,67	m^3/s
Cijena ulaznog bazena	0,1361	mil. kn
Cijena elektrane sa istim protokom	0,2994	mil. kn
Cijena izgradnje brane (vanjske cijevi)	4.251,92	kn
Cijena podzemnih cijevi (10 m)	2.612,88	kn
Cijena turbine	457.131,52	kn
Cijena poklopca ili ventila	18.961,11	kn
Cijena zaštitne rešetke	4.568,93	kn
Cijena PE-cijevi PN10 (5 m)	7.620,94	kn
Cijena generatora preko 500 kW(meni treba od 45 kW)	47.999,96	kn
Cijena transformatora	29.283,76	kn

Cijena instalacije 500-1000 kW (45 kW)	181.450,00	kn
Cijena trafo-stanice	23.504,60	kn
Cijena energetske mreže (150 m)	8.1625,25	kn
Godišnja cijena održavanja	18,145	kn/MWh
Trajnost (ekonomska isplativost)	55	god

U troškove spadaju cijena turbine, generatora, (multiplikatora i transformatora) po potrebi, građevinski radovi za ulazni cjevovod te iskapanje 6*4*4 jame, lokalni razvod struje, te cijena priključka na mrežu

Promjer cijevi: $d=0,6$ m

UKUPNO(T_1)=762.193,15 kn, ali to je cijena bez brane i upusta, te strojarnice.

Što se tiče iskopa jame, zatražio sam okvirnu ponudu od jedne građevinske firme koju ću kasnije pribrojiti u cijenu troškova. Nadalje ovdje je pribrojana automatizacija za deset puta veći sustav te cijena transformatora, koji će biti reducirani.

9.1.2. Turbina 2

Troškovi su isti kao i za turbinu jedan s tom razlikom da ovdje nema mogućnosti povećanja ukupnog pada.

$$P=11 \text{ kW}; Q=0,25-0,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Trajanje ispuštanja ribnjaka 175dana

Količina proizvedene el. Energije u godini iznosi:

$$P_{el2} = P * \text{trajanje ispuštanja}(u \text{ satima}) = 11 * 175 * 24 = 46200 \text{ kWh}$$

Zarada na turbini:

$$Z_2 = P_{el2} * C_{el.eng.} = 46200 * 1,07 = 49.434,00 \text{ kn}$$

Promjer cijevi:

$$d=0,6 \text{ m}$$

Tablica 3. Izračun troškova turbina 2

Snaga Turbine	11	kW
Dubina postavljanja cijevi	1	m
Promjer cijevi	0,6	m
Protok	0,325	m ³ /s
Cijena ulaznog bazena	0,07258	mil. kn
Cijena elektrane sa istim protokom	0,1724	mil. kn
Cijena izgradnje brane (vanjske cijevi)(5 m)	4.251,92	kn
Cijena podzemnih cijevi(10 m)	2.612,88	kn
Cijena turbine	130.591,52	kn
Cijena poklopca ili ventila	18.961,11	kn
Cijena zaštitne rešetke	2.876,84	kn
Cijena PE-cijevi PN10(5m)	7.621,26	kn
Cijena generatora preko 500kW(meni treba od 11 kW)	14.629,59	kn
Cijena transformatora za dostavu 22kV distribucijske mreže	27.213,69	kn
Cijena instalacije 500-1000 kW(11 kW)	181.450,00	kn
Cijena trafo-stanice	5.947,34	kn
Cijena energetske mreže (150 m)	8.165,25	kn
Godišnja cijena održavanja	18,15	kn/MWh
Trajnost (ekonomska isplativost)	55	god

$$UKUPNO(T_2)=404.003,80\text{kn}$$

Ovdje je također pribrojana automatizacija za znatno veći sustav te cijena transformatora, koji će biti reducirani, transformator vjerojatno i uklonjen.

9.1.3. Turbina 3

Troškovi identični kao i za turbinu 2

$$P=7\text{ kW}; Q=0,15-0,25\text{ m}^3/\text{s}$$

Trajanje ispuštanja ribnjaka 75 dana, a što se tiče ribnjaka 23 na kojemu se može osigurati konstantan protok može biti trajanje i cijele godine, ako je godina s normalnom količinom padalina. Tako da ćemo za potrebe proračuna uzeti 1/3 godine što iznosi 119 dana;

Količina proizvedene el. Energije u godini iznosi:

$$P_{el3} = P * \text{trajanje ispuštanja}(u\text{ satima}) = 7 * 119 * 24 = 19992\text{ kWh}$$

Zarada na turbini:

$$Z_3 = P_{el3} * C_{el.eng.} = 19992 * 1,07 = 29.391,44\text{ kn}$$

Promjer cijevi:

$$d=0,6\text{ m}$$

Tablica 4. Izračun troškova turbina 3

Snaga Turbine	7	kW
Dubina postavljanja cijevi	1	m
Promjer cijevi	0,6	m
Protok	0,2	m^3/s
Cijena ulaznog bazena	0,04536	mil. kn
Cijena elektrane sa istim protokom	0,1179	mil. kn
Cijena izgradnje brane (vanjske cijevi) (5 m)	4.251,92	kn
Cijena podzemnih cijevi (10 m)	2.612,88	kn
Cijena turbine	92.265,25	kn

Cijena poklopca ili ventila	18.961,11	kn
Cijena zaštitne rešetke	2.263,77	kn
Cijena PE-cijevi PN10 (5 m)	7.621,26	kn
Cijena generatora preko 500kW (meni treba od 7 kW)	14.629,59	kn
Cijena transformatora za dostavu 22kV distribucijske mreže	27.213,96	kn
Cijena instalacije 500-1000 kW(7kW)	181.450,00	kn
Cijena trafo-stanice	5.947,34	kn
Cijena energetske mreže (150 m)	8.165,25	kn
Godišnja cijena održavanja	18,15	kn/Mh
Trajnost (ekonomska isplativost)	55	god

UKUPNO(T_3)=365.473.05 kn

Ovdje je također pribrojana automatizacija za znatno veći sustav te cijena transformatora, koji će biti reducirani, transformator vjerojatno i uklonjen.

9.2. Izračun isplativosti

Ukupni profit od turbina iznosi:

$$Z_1 + Z_2 + Z_3 = 132.894,00 + 49.434,00 + 29.391,44 = 211.719,44 \text{ kn/god}$$

Ukupni troškovi:

$$T_1 + T_2 + T_3 = 762.193,15 + 404.003,80 + 365.473.05 = 1.531.670,00 \text{ kn}$$

Prema grubom izračunu, te bez kredita i raznih pogodnosti iz EU fondova za zelenu energiju isplativost ukuone investicije bi se ostvarila nakon:

$$I = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{1.531.670,00}{211.719,44} = 7,234 \text{ god}$$

Ukoliko bi za realizaciju projekta morali dignuti kredit na 3 godine u visini od 85% investicije, u ratu za obnovljive izvore 4,5% tada je način otplate kredita:

Tablica 5. Način otplate kredita

Godine	Rata	Glavnica	Kamate	Ostatak duga
1	473.603,63	415.017,25	58.586,38	886.902,25
2	473.603,63	433.693,03	39.910,60	453.209,22
3	473.603,63	453.209,22	20.394,41	0,00

Rata je izračunata po formuli:

$$R = 0,85 * investicija * k$$

$$k = \frac{kamata * (1 + kamata)^{godina\ otplate}}{((1 + kamata)^{godina\ otplate} - 1)} = 0,36377336$$

Amortizira se cijena turbine, generatora, transformatora, automatizacija.

To ukupno iznosi za sve tri turbine: 1.385.307,76 kn

[9], [10], [11], [12] korištene za pomoć pri proračunu isplativosti

Tablica 6. Izračun isplativost investicije

Godine	Prihod	Troškovi	Dobit bruto	Amortizacija	Porez na dobit	Neto dobit
0		- 1.301.919,50		Sve 3 godine	Uzeto 10%	
1	211.719,44 kn	58.586,378	153.133,063 kn	461.769,25	-30.863,619 kn	-231.020,572 kn
2	211.719,44 kn	39.910,601	171.808,839 kn	461.769,25	-28.996,041 kn	-232.888,150 kn
3	211.719,44 kn	20.394,415	191.325,025 kn	461.769,25	27.044,423 kn	-234.839,768 kn
4	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
5	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
6	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
7	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
8	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
9	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
10	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
11	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
12	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
13	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
14	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
15	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
16	211.719,44 kn		201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn

		10.000,000				
17	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
18	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
19	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
20	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
21	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
22	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
23	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
24	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn
25	211.719,44 kn	10.000,000	201.719,440 kn		20.171,944 kn	181.547,496 kn

Ukupna dobit nakon 25 godina iznosi 3.295.296,42 kn

Neto dobit je razlika bruto dobiti poreza na dobit te glavnice kredita

Očekivani povrat investicije bez ikakvih pogodnosti odnosno sufinanciranja od strane Europske unije iznosi 7,5 godina.

10. ZAKLJUČAK

Male hidroelektrane mogu značajno doprinijeti proizvodnji električne energije. Podrška i investiranje u male hidroelektrane ima višestruko dugoročne koristi (globalno zatopljenje, sigurnost opskrbe energijom i ekonomija).

Konstrukcija i ekonomičnost je vrlo specifična za svaku lokaciju (mala akumulacija i jednostavna hidrologija), kao i manji negativni utjecaji na okoliš.

Ključni faktori ekonomičnosti su:

1. velika pouzdanost i raspoloživost
2. mali troškovi pogona
3. rad bez goriva
4. mali utjecaj na okoliš
5. dug životni vijek

Projekcija strategije u Republici Hrvatskoj je da se do 2020. godine, poveća korištenje malih hidroelektrana 2 do 4 puta.

Postojeća metodologija planiranja izgradnje malih hidroelektrana, pokazala se neosjetljivom na suvremene zahtjeve za zaštitom prirode, okoliša i kulturne baštine.

Na temelju čl. 28 stavka 3 Zakona o energiji (N.N. br. 68/2001 i 177/2004), Vlada Republike Hrvatske je na sjednici održanoj 22. ožujka 2007. godine donijela:

1. tarfini sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije
2. poticajnu cijenu za isporučenu električnu energiju postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneraciju čl. 3

Pravo na poticajnu cijenu stječe proizvođač električne energije koji koristi obnovljive izvore energije.

11. LITERATURA

1. Hrvatski hidropotencijali i male hidroelektrane; Prof. dr. sc. Krešimir Franjić
2. Hidroenergija – male HE; Potencijal i tehnologija; Prof.dr.sc. Zdenko Šimić
3. RETScreen International; Smal Hydro Project Analysis; www.etscreen.net
4. MALE HIDROELEKTRANE; prof.dr.sc. Roko Andričević; Građevinsko-arhitektonski fakultet Split
5. http://hr.wikipedia.org/wiki/Male_hidroelektrane
6. http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Hid-roelektrane
7. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-3, February 2013 308; Design of High Efficiency Cross-Flow Turbine for Hydro-Power Plant; Bilal Abdullah Nasir
8. SMART –Strategies to Promote Small Scale Hydro Electricity Production in Europe; Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb; Prof. Zvonimir Guzović
9. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske; Mehanizmi financiranja projekata održive energije; Hrvoje Maras, dipl.oec.
10. <http://www.vaic.hr/hr/novosti/53-porezne-olaksice-poticaji-30-05>
11. Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije– HO CIRED; Uvjeti priključenja malih elektrana na distribucijsku mrežu i usporedba s propisima
12. MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA VODNOG POTENCIJALA U STRATEGIJI ENERGETSKOG RAZVITKA REPUBLIKE HRVATSKE; Mr.sc. Hubert Bašić – Energetski institut “Hrvoje Požar” d.o.o.; Zdenko Mahmutović – Elektroprojekt d.d. Zagreb ;Željko Pavlin – Elektroprojekt d.d. Zagreb